

STEINE DER WEISEN

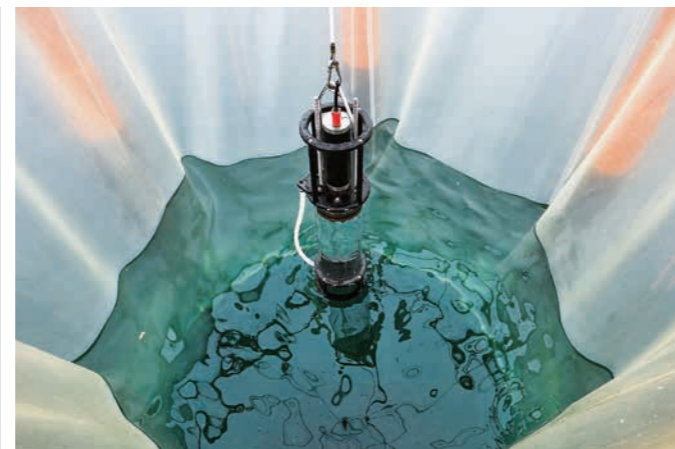
Es ist eine extravagante Methode zur Klimarettung: Damit die Ozeane mehr Kohlendioxid aufnehmen, wollen Forscher riesige Mengen an pulverisiertem Gestein darin versenken. Kann das funktionieren?

Text und Fotos: Tim Kalvelage



Oben Schwimmende Experimentieranlagen des Geomar, sogenannte Mesokosmen, im Raunefjord nahe Bergen

Rechts Aus den Mesokosmen wird das Meerwasser entnommen, um chemische und biologische Analysen durchzuführen



Links Zurück im Labor, studieren die Forscher den Kohlenstoffkreislauf in den Wasserproben penibel



NACH KURZER FAHRT VOM Bootsanleger der meeresbiologischen Station auf den Raunefjord hinaus macht die „Wassermann“ am Mesokosmos Nummer eins fest. Zwischen den signalorange lackierten Auftriebskörpern hängt ein rund 40 000 Liter fassender Plastiksack, gefüllt mit Meerwasser. Ein abgeschlossenes Ökosystem, das jetzt, kurz nach der Frühjahrsblüte, grünlich schimmert. Mehrfach lassen die Forscher in dem 20 Meter langen Sack einen Wasserschöpfer hinab. Die Proben füllen sie in Kanister und Flaschen, um sie später im Labor zu analysieren. Dann binden sie das Boot wieder los und steuern den nächsten Mesokosmos an.

Zehn der schwimmenden XXL-Reagenzgläser hat das Forschungsschiff „Alkor“ vom Kieler Geomar-Institut einen Monat zuvor nahe Bergen ausgesetzt und am Meeresgrund verankert. Anschließend wurden in die Versuchsbehälter unterschiedliche Mengen alkalischer Minerale gegeben – in einige Kalk, in andere Silikat. Seither verfolgen rund 40 Wissenschaftler, Techniker und Studenten akribisch, wie sich die Wasserchemie und die Planktongemeinschaft darin verändern. Das Experiment soll zeigen, ob sich die Aufnahme von Kohlendioxid (CO₂) durch den Ozean im Kampf gegen den Klimawandel erhöhen lässt: mit pulverisiertem Gestein, das den Säuregrad des Meerwassers verringert, es alkalisiert. Zugleich will das Team klären, wie sich eine Alkalisierung auf das marine Ökosystem auswirkt.

Der Großversuch vor der Küste Norwegens ist Teil eines EU-Projekts zur Frage, wie der Mensch den Ozean nutzen kann, um die globale Erwärmung einzudämmen. Ulf Riebesell, Meeresbiologe am Geomar und Leiter der Studie, glaubt: indem man die Verwitterung von Gestein ankurbelt. „Bei diesem natürlichen Prozess wird der Atmosphäre CO₂ entzogen und viele Jahrtausende im Ozean gespeichert. Nur geschieht das sehr langsam“,

erklärt er. Durch Alkalisierung der Meere mit Gesteinsmehl oder alkalischen Salzen aus der Industrie könne man der Natur unter die Arme greifen. „Als positiver Nebeneffekt würde auch die Ozeanversauerung bekämpft, die Korallen und andere Organismen bedroht.“

400 bis 1000 Milliarden Tonnen CO₂ darf die Menschheit laut letztem Weltklimabericht noch maximal ausstoßen, um die Erderwärmung auf 1,5 bis zwei Grad Celsius zu begrenzen. Bereits im Jahr 2030 könnte dieses „Budget“ aufgezehrt sein. Daher müssen nicht nur die globalen Treibhausgasemissionen drastisch sinken. Alle Klimaszenarien mit maximal zwei Grad Erwärmung erfordern zugleich, riesige Mengen CO₂ wieder aus der Atmosphäre zu holen: durch biologische, chemische und technische Maßnahmen, die Forscher als Carbon Dioxide Removal (CDR) bezeichnen. Dazu gehören die Renaturierung von Ökosystemen, Biomasseplantagen zur Stromerzeugung oder Anlagen, die das Gas aus der Luft filtern und in tiefe Gesteinsschichten pressen.

Viele CDR-Maßnahmen sind allerdings kaum erprobt und bergen erhebliche Risiken. Landbasierte Maßnahmen beanspruchen teils riesige Flächen, können Wasserknappheit verschärfen und bedrohen Nachhaltigkeitsziele wie den Schutz der Artenvielfalt und die sichere Ernährung der Weltbevölkerung.

Wissenschaftliche Studien zeigen, dass Bäume pflanzen allein nicht genügen wird, um CO₂ dauerhaft im nötigen Maßstab zu binden. Auch technische, energiehungrige Verfahren zum Einfangen des Gases sind lediglich ein Tropfen auf den heißen Stein. Auf Island etwa, wo es dank leicht zugänglicher Geothermie reichlich erneuerbare Energie gibt, wird derzeit die weltgrößte Direct-Air-Capture-Anlage gebaut: „Mammoth“, ein gigantischer CO₂-Filter. Doch selbst 10 000 dieser Anlagen würden kaum ein Prozent der globalen Emissionen wettmachen.

Für Meeresbiologe Riebesell liegt die Lösung daher nicht an Land, sondern in den Weiten der Meere. Er setzt auf eben jenes Verfahren, das – zumindest auf dem Papier – großes Potenzial verspricht: Ozeanalkalisierung. „Damit ließen sich theoretisch Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr aus der Atmosphäre entfernen und dauerhaft im Meer speichern“, sagt er. Gleichwohl ist der Aufwand enorm. „Für jede Tonne CO₂, die der Ozean zusätzlich schlucken sollte, wären ein bis drei Tonnen Gestein nötig“, so Riebesell. Es müsste abgebaut, gemahlen und mit Schiffen verteilt oder in Reaktoren an Land im Meerwasser gelöst werden. An Gestein mangelt es auf der Erde nicht, aber es müssten ganze Berge pulverisiert werden. Auch Minenabraum oder Abfälle der Rohstoffindustrie sind denkbare Quellen für alkalische Minerale.

Um das Prinzip der Methode zu verstehen, hilft ein Exkurs in die Chemie der Meere: Gelangt CO₂ aus der Atmosphäre in den Ozean, reagiert es zum Großteil mit Wassermolekülen zu Kohlensäure. Diese wiederum zerfällt überwiegend zu Hydrogenkarbonat und Karbonat sowie Wasserstoffionen (Protonen). Dank dieser Kettenreaktion wird das Treibhausgas chemisch gebunden und kann nicht wieder in die Luft entweichen. Doch je mehr der Ozean davon schluckt, desto mehr Protonen werden frei, die den pH-Wert senken, sprich: den Säuregrad erhöhen. Zum einen verlangsamt das die CO₂-Aufnahme. Zum anderen greift die Säure die kalkhaltigen Schalen und Skelette von Korallen, Muscheln und Plankton an, was artenreiche Ökosysteme und marine Nahrungsnetze gefährdet.

Wie viel CO₂ der Ozean speichern kann, ohne dabei immer stärker zu versauern, hängt von seiner Alkalinität ab. So bezeichnen Experten die Menge an alkalischen Ionen im Meerwasser, die Protonen neutralisieren können. Sie entstehen vor allem durch Verwitterung von



In die Mesokosmen werden unterschiedliche Mengen alkalischer Minerale gegeben – in einige Kalk, in andere Silikat

Gesteinen an Land und werden seit Urzeiten durch Regen und Flüsse ins Meer gewaschen. Langfristig, über Jahrhunderte bis Jahrtausende, stabilisieren Verwitterung und andere geologische Prozesse das Klima der Erde, indem sie CO₂ vornehmlich in harmloses Hydrogenkarbonat verwandeln, „eine chemische Verbindung mit einer Halbwertszeit von rund 100 000 Jahren im Ozean“, so Riebesell.

Mit dem aktuellen Tempo des CO₂-Anstiegs in der Atmosphäre können diese Regelkreisläufe nicht Schritt halten. Deshalb macht sich nun die Idee breit, die Verwitterung zu beschleunigen: Zu Pulver gemahlene Gesteine, das auf Äckern, an Stränden oder im offenen Meer verteilt wird, könnte relativ schnell viel CO₂ binden – Geologie im Zeitraffer.

Im Kühlraum der Station am Raunefjord, wo sich Riebesells Team für das Experiment einquartiert hat, stapeln sich in deckenhohen Regalen Kanister mit Proben aus den Mesokosmen. Die Forscher wollen zum einen herausfinden, ob der Ozean durch Zugabe alkalischer Minerale tatsächlich mehr CO₂ aufnimmt. Bisher beruhen Erkenntnisse dazu vor allem auf Computermodellen und Laborversuchen. Letztere zeigen, dass sich nicht alle Gesteine gleichermaßen für die Alkalisierung eignen und unerwünschte chemische Reaktionen CO₂ freisetzen können. Also nehmen sie den Kohlenstoffkreislauf in den Versuchsbehältern penibel unter die Lupe: Wie viel CO₂ und Säurepuffer enthält das Wasser? Wie viel Kohlenstoff wird von Algen fixiert und in der Nahrungskette weitergereicht oder schneit als tote Biomasse in die Tiefe?

Zum anderen geht es um potenzielle Folgen für die Lebensgemeinschaften im Meer. „Ozeanalkalisierung ist ein rein chemisches Verfahren. Idealerweise wird das Ökosystem dadurch nicht beeinflusst“, sagt Riebesell. „Je nach Art des zugegebenen Minerals könnten jedoch bestimmte Algenarten profitieren.“ Das könnte andere Planktonspezies verdrängen und Nahrungsnetze verändern. Andere mögliche Probleme sind die Trübung des Meerwassers, wenn sich das Gesteinsmehl nicht vollständig auflöst, oder freigesetzte Spurenmetalle wie Nickel, die in hohen Konzentrationen toxisch sind.

Seit über einem Jahrzehnt reist Riebesell mit seinen Mesokosmen um den Globus. Sie trieben bereits im Pazifik vor Peru und Hawaii, im Atlantik vor Gran Canaria und in den arktischen Gewässern vor Spitzbergen. Lange hat er mit seinem mobilen Versuchslabor studiert, wie sich Erwärmung und Versauerung des Ozeans auf das Leben im Meer auswirken. Heute sucht er nach Lösungen für solche Probleme. Auch aus Frust über den schlep-penden Kampf gegen die Klimakrise, wie er sagt. „Wissenschaftler warnen seit Jahrzehnten vor den Folgen des CO₂-Anstiegs in der Atmosphäre. Ich war bei fünf Weltklimakonferenzen und hatte hinterher stets das Gefühl, dass unsere Warnungen keine Veränderungen in Politik und Gesellschaft bewirkten.“

Wie viele andere Wissenschaftler ist er überzeugt, dass die Pariser Klimaziele ohne Eingriffe in die Natur nicht mehr zu erreichen sind. „Es gibt große Vorbehalte gegen Climate Engineering und der Forschung auf diesem Gebiet. Dabei greifen wir durch unsere CO₂-Emissionen bereits

massiv in Ökosysteme ein“, sagt er. Natürlich klinge es attraktiver, Seegrasswiesen aufzuforsten als die Ozeanchemie zu manipulieren. Und für den Erhalt der Biodiversität sei dies wichtig. „Aber bedeutende Mengen CO₂ werden wir dadurch nicht speichern. Für den Klimaschutz benötigen wir größere Hebel.“

Zugleich warnt Riebesell vor dem Einsatz von Geoengineering, bevor Nutzen und Risiken nicht gründlich untersucht sind, unabhängig von finanziellen Interessen. Denn während Forschende diese für die Ozeanalkalisierung gerade erst zu verstehen beginnen, stehen bereits mehrere Start-ups in Nordamerika in den Startlöchern. Es winkt sehr viel Geld: Der Verkauf von CO₂-Zertifikaten an Firmen, die klimaneutral werden wollen, könnte sich laut Analysten in den kommenden Jahrzehnten zu einem Multi-Milliarden-Markt entwickeln.

Eines dieser Start-ups ist Planetary Technologies aus Kanada. In einem Pilotprojekt in Halifax, der Hauptstadt der Ostküstenprovinz Nova Scotia, hat es vor Kurzem 300 Tonnen alkalisches Magnesiumhydroxid mit dem Kühlwasser eines örtlichen Gaskraftwerks in eine Meeresbucht eingeleitet. Nach Schätzungen des Unternehmens nimmt der Ozean auf diese Weise 200 Tonnen CO₂ auf.

„Die tatsächliche CO₂-Aufnahme zu messen und zu verifizieren, ist jedoch nicht trivial“, sagt Katja Fennel von der Dalhousie University in Halifax. Die Ozeanografin leitet ein Team, das mit Geldern der gemeinnützigen Carbon to Sea Initiative eine unabhängige Studie über das Alkalisierungsprojekt von Planetary Technologies durchführt. Im vergangenen

Herbst haben die Forscher das Kühlwasser des Kraftwerks mit einem pinken Farbstoff versetzt, um dessen Ausbreitung zu verfolgen, und parallel Proben gesammelt. „In der Bucht herrschen Gezeiten, mit denen sich die Wasserchemie stark ändert“, sagt Fennel. „Diese natürlichen Schwankungen erschweren es, die gespeicherte Menge an CO₂ zu bestimmen.“

Nach fast acht Wochen endet das Mesokosmenexperiment im Raunefjord. Bis die Forscher alle Daten analysiert haben, wird es allerdings dauern. Doch es gibt erste Erkenntnisse. So konnten sie nach der Alkalisierung nur eine geringe CO₂-Aufnahme des Meerwassers messen, bei Versuchsende hatte es sein Potenzial nicht annähernd ausgeschöpft. Grund dafür ist vermutlich der langsame Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Ozean. Für eine wirksame CO₂-Speicherung müsste Gesteinsmehl daher in Wassermassen verteilt werden, die lange genug an der Oberfläche bleiben. Oder in Auftriebsgebieten, wo CO₂-reiches Wasser aus der Tiefsee aufströmt. Dort ließe sich durch Alkalisierung verhindern, dass der Ozean das Treibhausgas an die Atmosphäre abgibt.

Die Planktongemeinschaft hat unterschiedlich auf die Zugabe der alkalischen Minerale reagiert. Die vorläufigen Ergebnisse zeigten aber begrenzte Risiken der Ozeanalkalisierung für marine Ökosysteme; zu einem ähnlichen Schluss kamen Wissenschaftler in zwei anderen Studien.

Ob Ozeanalkalisierung oder andere Methoden des Geoengineering in Zukunft zum Einsatz kommen, bleibt ungewiss. Entwicklung und Gefahrenabschätzung dürften noch Jahre oder sogar Jahrzehnte beanspruchen. Forscher mahnen daher, sich beim Kampf gegen die Erderwärmung nicht darauf zu verlassen. Solange die globalen CO₂-Emissionen nicht massiv sinken, seien alle Versuche, das Gas wieder aus der Atmosphäre zu holen, zum Erreichen der Klimaziele nutzlos. ☞

Tim Kalvelage, Jahrgang 1984, Wissenschaftsjournalist und Fotograf in Bremen, reiste bereits 2018 nach Gran Canaria, um über ein Experiment in Mesokosmen zu berichten. Doch die Versuchsbehälter wurden damals durch schwere See beschädigt. Jetzt aber gelangen die Probenahmen ohne Probleme.

Arezu Weitholz Hotel Paraíso



Roman

mare

Vom Aufbrechen und Ankommen

Über den Jahreswechsel hütet Frieda ein geschlossenes Hotel an der portugiesischen Algarve. Doch warum werden ausgerechnet hier Erinnerungen an ein Zuhause wach, das sie verloren hat: eine Tankstelle in der niedersächsischen Provinz?

176 Seiten,
gebunden mit Schutzumschlag
und Lesebändchen
23 € [D]
ISBN 978-3-86648-744-4

mare